

区块链视角下食品供应链多方演化博弈模型

Research on multi-party evolutionary game model of food supply chain under the application of blockchain

任立肖^{1,2} 宋 宣² 张 丽^{1,2} 周 娜²

REN Li-xiao^{1,2} SONG Xuan² ZHANG Li^{1,2} ZHOU Na²

(1. 天津科技大学食品安全管理与战略研究中心, 天津 300222; 2. 天津科技大学经济与管理学院, 天津 300222)

(1. *Research Center of Food Safety Strategy and Management, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China*; 2. *School of Economics and Management, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China*)

摘要:目的:探究区块链应用于食品供应链的影响因素及食品供应链各参与方的行为问题。方法:运用演化博弈方法,构建食品企业、政府和消费者的三方博弈模型,并建立复制动态方程;分析了不同初始值、接入成本、溢价系数、信息真实度等参数变化对于三方策略选择的影响。结果:系统的稳定状态与初始策略人群占比有关;区块链接入成本对食品企业的策略选择影响较大,过高的接入成本会抑制食品企业信息上链的积极性,不利于区块链技术在食品溯源体系的应用推广;因接入区块链导致的溢价会影响消费者购买的积极性;区块链技术的不可篡改性可以提高食品溯源信息的真实度,从而有利于三方主体向着理想状态演化。结论:为从根本上解决食品溯源信息的真实性问题,食品企业应在保证溯源信息真实性的前提下降低可追溯食品溢价程度的价格,政府应在控制可追溯食品的溢价的前提下提高消费者购买的积极性。

关键词:食品供应链;演化博弈;区块链

Abstract: Objective: The influencing factors of blockchain application in food supply chain and the behavior problems of all participants in food supply chain are worth exploring. Methods: Using the evolutionary game method, the tripartite game model of food enterprises, government and consumers was constructed, and the replication dynamic equation was established; The effects of different initial values, access cost, premium coefficient and information authenticity on the choice of tripartite strategy were analyzed. Results: The steady state of the system was related to

the proportion of the initial strategy population. The block link in cost had a great impact on the strategic choice of food enterprises. Too high access cost would inhibit the enthusiasm of food enterprises in information chain, which was not conducive to the application and promotion of block chain technology in food traceability system. The premium caused by accessing the blockchain would affect consumers' purchase enthusiasm. The non-tamper ability of blockchain technology can improve the authenticity of food traceability information, which is conducive to the evolution of the three parties towards the ideal state. Conclusion: In order to fundamentally solve the authenticity of food traceability information, food enterprises should reduce the price of traceable food premium on the premise of ensuring the authenticity of traceability information, and the government should improve consumers' purchase enthusiasm on the premise of controlling the premium of traceable food.

Keywords: food supply chain; evolutionary game; blockchain

食品溯源体系的建立能够实现食品信息来源可查、去向可追、责任可究,一旦发现问题,能够根据溯源信息进行有效的控制和召回,从源头上保障消费者的合法权益。传统的溯源系统数据都集中存储在服务器端,不能保证溯源信息的真实性问题^[1],而区块链技术的开放性、可靠性及不可篡改性特点,与供应链的多主体相结合,具有形成安全可靠食品溯源体系的天然优势。

现有关于食品追溯体系的研究,主要涉及主体有企业、政府和消费者 3 类,分别从企业行为驱动因素、政府行为以及消费者的认可度等角度展开研究。侧重企业视角的研究,山丽杰等^[2]研究表明企业实施可追溯体系有助于提高食品行业的总体质量安全水平。侧重政府视角的研究,朱立龙等^[3]分析认为影响政府监管部门、农产品生产加工企业和第三方检测机构策略选择的关键因素分别

基金项目:国家社科基金项目(编号:17BGL017)

作者简介:任立肖,女,天津科技大学副教授,硕士。

通信作者:张丽(1977—),女,天津科技大学副教授,博士。

E-mail: zhangli2006@tust.edu.cn

收稿日期:2021-04-12

为惩罚力度、寻租收益和寻租成本;刘长玉等^[4]构建政府、企业、消费者的三方博弈模型,认为政府监管概率和消费者维权概率越大,企业生产合格产品的概率越大。侧重消费者视角的研究,吴林海等^[5]运用 Nlogit5.0 分析工具证明了消费者对可追溯信息属性具有最高的支付意愿;曹裕等^[6]基于消费者行为理论,研究溯源信息掺假与否时企业的最优定价策略;孙胜楠等^[7]进一步将消费者支付意愿和溯源系统成本收益结合,研究食品供应链最优采购策略,并对政府监管的影响进行了分析;朱桂菊等^[8]将消费者溯源偏好和参考价格效应纳入统一分析框架,分析食品供应链溯源投入的最优动态决策与协调问题。

采用传统数据存储方式实现食品质量管理及追溯的研究已展开多年,且成果颇丰。Chen 等^[9]研究发现对食品质量管理有限投入会导致食品的低产出、低质量、高价格;Allata 等^[10]提出冰淇淋加工的 HACCP 和追溯系统,可以控制食源性安全隐患,最大程度地减少不安全或劣质产品的生产和分销;Chen 等^[11]用二维码技术,实现了猪肉从源头到餐桌的追溯;赵训铭等^[12]研究了射频识别(RFID)技术在食品溯源中的应用。传统溯源信息真实性不能有效保证,于是对于区块链在食品供应链的应用,业界与学界也分别展开了实践及研究。在业界,沃尔玛于 2016 年宣布与 IBM 达成战略合作,而后又联合清华大学和京东,四方联手打造基于区块链技术的安全食品区块链溯源联盟。在学界,刘宗妹^[13]阐述了大数据时代利用区块链技术和射频识别技术构建的“区块链+RFID”两位一体协同共享模式,Kim 等^[14]将区块链技术应用到农业,食品企业、农户和融资机构通过区块链,提高食品加工各环节的安全性、透明性以及效率;Kshetr^[15]探讨了区块链技术对供应链管理中成本、质量、速度、风险控制和可持续性等主要目标的影响;还有学者^[16]探讨了区块链技术应用用于芒果的追溯方案。

综上,区块链技术应用用于食品溯源极具意义,学界已有研究证明其有效性,但在实际的应用中如何调动食品企业参与的能动性,消费者对于可追溯食品的溢价接受度如何,食品企业对于区块链技术投入成本和远期利益应该如何平衡等问题鲜有研究。研究拟选取食品供应链中的食品企业、政府和消费者 3 个关键主体,运用演化博弈方法进行分析,探讨初始状态、区块链接入成本、溢价系数以及溯源信息真实度对三方主体演化博弈结果的影响,以期为食品安全治理提供新的可行思路。

1 模型的构建与求解

参与博弈的三方主体为食品企业、政府和消费者,三方均为有限理性,因此各方最初的选择并非是最优策略,而是随着时间推移互相影响并调整自身策略才能达到最优状态。食品企业的策略选择为(上链,不上链),“上链”策略是指食品企业愿意将食品在生产、加工、运输过程的信息接入区块链,“不上链”是指食品企业不会将相关食

品信息接入区块链。政府的策略选择为(积极规制,消极规制),“积极规制”是指政府极力促成区块链应用于食品溯源体系,鼓励食品企业将信息上链,并给予相关激励政策,当食品企业选择不上链时,可能上传虚假追溯信息,此时政府积极规制会给予惩处,“消极规制”是指政府不干预食品企业的溯源信息是否上链行为。消费者的策略选择为(购买,不购买),“购买”是指消费者对于带有追溯信息的食品认可并愿意支付一定的溢价来购买,“不购买”即由于溢价存在,消费者不购买带有追溯信息的食品。以上分析的逻辑关系图如图 1 所示。

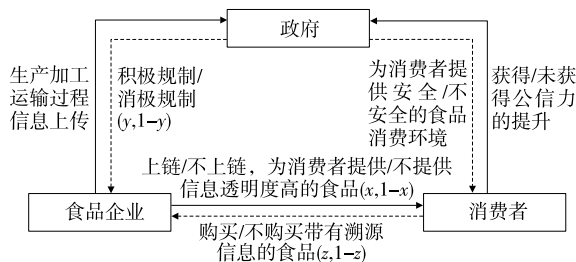


图 1 三方博弈模型逻辑关系图

Figure 1 Logic diagram of tripartite game model

三方博弈模型的假设:

假设 1:食品企业选择上链的概率为 x , 选择不上链的概率记为 $1-x$;政府选择积极规制的概率为 y , 选择消极规制的概率为 $1-y$;消费者选择购买的概率为 z , 选择不购买的概率为 $1-z$ 。

假设 2:食品企业基本收益为 R , 食品企业接入区块链的成本为 C_1 , 由于区块链的不可篡改性, 食品企业上链时提供食品信息为真实的, 消费者购买到优质真实的食品后产生认可和信任, 给食品企业带来声誉收益 I , 政府获得公信力的提升 S , 此时政府选择积极规制时, 会给予食品企业一定的补贴 A , 消费者买到真实溯源信息的食品时效用为 U , 带有溯源信息食品的溢价系数为 μ , 价格为 Q , 消费者购买到溯源信息真实的食品时收益为 $U-\mu Q$ 。

假设 3:食品企业不上链时, 其提供的食品信息的真实度有待考量, 虚假信息会带来短期的利益 ΔR , 假设食品企业不上链时溯源信息真实度为 θ , 则食品企业上传失真的溯源信息时获得的收益为 $(1-\theta)\Delta R$, 消费者购买到溯源信息失真的产品会产生一定的损失 L , 当政府积极规制时, 政府检测到食品企业的溯源信息失真情况因而对食品企业收取罚金 P 。政府积极规制成本为 C_2 , 政府积极规制带来安全的食品环境, 因此获得消费者的信任带来公信力的提升 S 。在以上假设的基础上, 构建参数, 见表 1。

基于以上假设, 构建食品企业、政府和消费者三方主体间关于食品溯源的博弈矩阵, 混合策略博弈矩阵见表 2。

表 1 三方演化博弈模型参数

Table 1 Parameters of tripartite evolutionary game model

符号	描述	符号	描述
R	食品企业基本收益	I	食品企业获得的声誉收益
C_1	食品企业区块链接入成本	C_2	政府积极规制的成本
P	对食品企业的罚金	A	政府给予食品企业的上链补贴
ΔR	溯源信息失真时食品企业的收益	S	政府公信力提升
θ	溯源信息真实度	U	消费者买到真实溯源信息的食品时的效用
μ	溢价系数	Q	食品价格
L	消费者购买到溯源信息失真食品的损失	x	食品企业选择上链的比例
y	政府选择积极规制的比例	z	消费者选择购买的比例

表 2 三方主体博弈矩阵

Table 2 Tripartite game matrix

策略选择	政府	消费者	
		购买 z	不购买 $1-z$
上链 x	积极规制 y	$R+I+A-C_1, S-A-C_2, U-(1+\mu)Q$	$A-C_1, -A-C_2, 0$
	消极规制 $1-y$	$R+I-C_1, 0, U-(1+\mu)Q$	$-C_1, 0, 0$
不上链 $1-x$	积极规制 y	$R+(1-\theta)\Delta R-P, S+P-C_2, -(1+\mu)Q-(1-\theta)L$	$-P, P-C_2, 0$
	消极规制 $1-y$	$R+(1-\theta)\Delta R, 0, -(1+\mu)Q-(1-\theta)L$	$0, 0, 0$

2 三方博弈模型演化分析

根据表 2 的三方博弈矩阵,可进一步分析三方主体的期望收益及稳定演化策略。

2.1 食品企业的复制动态方程及演化稳定策略

食品企业选择上链的期望收益:

$$E_A = yz(R+I+A-C_1) + y(1-z)(A-C_1) + (1-y)z(R+I-C_1) + (1-y)(1-z)(-C_1) = yA + z(R+I) - C_1. \quad (1)$$

食品企业选择不上链的期望收益为:

$$E'_A = yz[R+(1-\theta)\Delta R-P] + y(1-z)(-P) + (1-y)z[R+(1-\theta)\Delta R] = z[R+(1-\theta)\Delta R] - yP. \quad (2)$$

平均期望收益为:

$$\bar{E}_A = xE_A + (1-x)E'_A. \quad (3)$$

由此可得食品企业的复制动态方程为:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_A - \bar{E}_A) = x(1-x)\{y(A+P) + z[I-(1-\theta)\Delta R] - C_1\}. \quad (4)$$

对食品企业选择上链的概率的复制动态方程求偏导可得:

$$\frac{dF(x)}{dt} = (1-2x)\{y(A+P) + z[I-(1-\theta)\Delta R] -$$

$C_1\}. \quad (5)$

根据微分方程稳定性定理,食品企业选择上链并处于稳定状态需要满足: $F(x)=0$ 且 $\frac{dF(x)}{dt} < 0$ 。因此当

$y = \frac{C_1 - z[I - (1-\theta)\Delta R]}{A + P}, \frac{dF(x)}{dt} \equiv 0, F(x) \equiv 0$ 则所有的 x 都处于稳定状态;当 $y > \frac{C_1 - z[I - (1-\theta)\Delta R]}{A + P}$,

$F(x) > 0$, 则 $x=1$ 为演化稳定策略;反之则 $x=0$ 为演化稳定策略。食品企业的策略演化相位图如图 2 所示。

2.2 政府的复制动态方程及演化稳定策略

政府选择积极规制的期望收益:

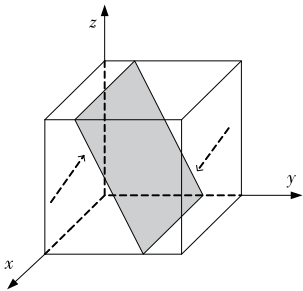


图 2 食品企业演化相位图

Figure 2 Phase diagram of food enterprise evolution

$$E_B = xz(S-A-C_2) + x(1-z)(-A-C_2) + (1-x)z(S+P-C_2) + (1-x)(1-z)(P-C_2) = P-C_2 - x(A+P) + zS. \quad (6)$$

政府选择消极规制的期望收益 $E'_B = 0$, 平均期望收益为:

$$\bar{E}_B = yE_B + (1-y)E'_B. \quad (7)$$

由此可得政府选择积极规制的策略概率复制动态方程为:

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_B - E'_B) = y(1-y)[P-C_2 - x(A+P) + zS]. \quad (8)$$

对政府选择积极规制概率的复制动态方程求偏导可得:

$$\frac{dF(y)}{dt} = (1-2y)[P-C_2 - x(A+P) + zS]. \quad (9)$$

根据微分方程稳定性定理, 政府选择积极规制并处于稳定状态需要满足: $F(y) = 0$ 且 $\frac{dF(y)}{dt} < 0$ 。因此当 $z = \frac{C_2 - P + x(A+P)}{S}$ 时, $\frac{dF(y)}{dt} = 0$, $F(y) = 0$ 则所有的 y 都处于演化稳定状态; 当 $z > \frac{C_2 - P + x(A+P)}{S}$, $F(y) < 0$, $y = 0$ 为演化稳定策略; 反之, 则 $y = 1$ 为演化稳定策略。政府的策略演化相位图如图 3 所示。

2.3 消费者的复制动态方程及演化稳定策略

消费者选择购买期望收益:

$$E_C = xy[U - (1-\mu)Q] + x(1-y)[U - (1-\mu)Q] + (1-x)y[-(1-\mu)Q - (1-\theta)L] + (1-x)(1-y)[-(1-\mu)Q - (1-\theta)L] = -(1-\mu)Q - (1-\theta)L + x[U + (1-\theta)L]. \quad (10)$$

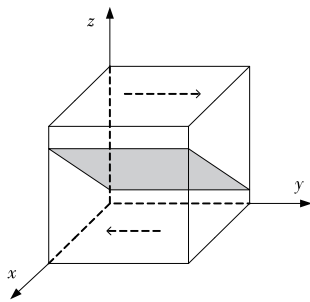


图 3 政府演化相位图

Figure 3 Phase diagram of government evolution

$$\begin{bmatrix} (1-2x)\{y(A+P) + z[I - (1-\theta)\Delta R] - C_1\} & x(1-x)(A+p) & x(1-x)[I - (1-\theta)\Delta R] \\ y(1-y)(-A-P) & (1-2y)[P-C_2 - x(A+P) + zS] & y(1-y)S \\ z(1-z)[U + (1-\theta)L] & 0 & (1-2z)\{x[U + (1-\theta)L] - (1+\mu)Q - (1-\theta)L\} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

$$\text{消费者选择不购买的期望收益为: } E'_C = 0. \quad (11)$$

$$\text{消费者的平均期望收益为: } \bar{E}_C = zE_C + (1-z)E'_C. \quad (12)$$

由此可得消费者选择购买的策略概率复制动态方程为:

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(E_C - \bar{E}_C) = z(1-z)\{x[U + (1-\theta)L] - (1+\mu)Q - (1-\theta)L\}. \quad (13)$$

对消费者选择购买概率的复制动态方程求偏导可得:

$$\frac{dF(z)}{dt} = (1-2z)\{x[U + (1-\theta)L] - (1+\mu)Q - (1-\theta)L\}. \quad (14)$$

根据微分方程稳定性定理, 消费者选择购买并处于稳定状态需要满足: $F(z) = 0$ 且 $\frac{dF(z)}{dt} < 0$ 。因此当 $x = \frac{(1+\mu)Q + (1-\theta)L}{U + (1-\theta)L}$ 时, $\frac{dF(z)}{dt} = 0$, $F(z) = 0$ 则所有的 z 都处于演化稳定状态; 当 $x > \frac{(1+\mu)Q + (1-\theta)L}{U + (1-\theta)L}$ 时, $F(z) < 0$, $z = 0$ 为演化稳定策略; 反之, 则 $z = 1$ 为演化稳定策略。消费者的策略演化相位图如图 4 所示。

2.4 博弈均衡点及稳定性分析

根据李雅普诺夫判别法可知, 在线性定常系统中, 所有的特征值都非正, 即是稳定的, 若是有一个特征值大于零, 或者有零的重根存在, 不稳定。在非对称演化博弈中可知考虑纯策略均衡的稳定性, 因此只需讨论 8 个均衡点的稳定性。构建雅可比矩阵并求得稳定点和特征值:

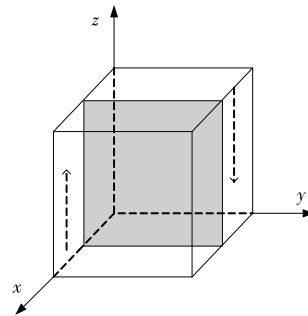


图 4 消费者演化相位图

Figure 4 Consumer evolution phase diagram

为使稳定性分析简单且不失一般性,初始参数的设置要符合 $A+P+I-(1-\theta)\Delta R-C_1>0, S-C_2-A>0, U-(1+\mu)Q>0$ 。由于模型参数设置较为复杂,下面分两种情况进行讨论。两种情形下对应的稳定点均衡性分析如表 3 和表 4 所示。

情形 1:当 $P-C_2<0$ 时,政府积极规制食品企业获得的罚金低于其积极规制的成本时,由表 4 稳定点均衡性分析可知,均衡点 $E_1(0,0,0)$ 和 $E_8(1,1,1)$ 对应的雅克比矩阵特征值均为负值,因此(不上链,消极规制,不购买)和(上链,积极规制,购买)为演化稳定策略,演化稳定相位图如图 5 所示。

情形 2:当 $A+P-C_1<0, P-C_2>0$ 时,食品企业上链获得的补贴与不上链获得的罚金之和低于上链时的投入成本,政府积极规制食品企业获得的罚金高于其积极规制的成本,由表 4 稳定点均衡性分析可知,均衡点 $E_3(0,1,0)$ 和 $E_8(1,1,1)$ 对应的雅克比矩阵特征值均为负值,因此(不上链,积极规制,不购买)和(上链,积极规制,购买)为演化稳定策略,演化稳定相位图如图 6 所示。

3 数值模拟与系统仿真

由于博弈主体的有限理性,部分博弈方不能选择完全理性的均衡策略,随着时间的推移,三方博弈主体相互

表 3 稳定点及其特征值

Table 3 Stable point and its eigenvalue

均衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3
$E_1(0,0,0)$	$-C_1$	$P-C_2$	$-(1+\mu)Q-(1-\theta)L$
$E_2(0,0,1)$	$I-(1-\theta)\Delta R-C_1$	$P-C_2+S$	$(1+\mu)Q+(1-\theta)L$
$E_3(0,1,0)$	$A+P-C_1$	$-(P-C_2)$	$-(1+\mu)Q-(1-\theta)L$
$E_4(0,1,1)$	$A+P+I-(1-\theta)\Delta R-C_1$	$-(P-C_2+S)$	$(1+\mu)Q+(1-\theta)L$
$E_5(1,0,0)$	C_1	$-C_2-A$	$U-(1+\mu)Q$
$E_6(1,0,1)$	$-[I-(1-\theta)\Delta R-C_1]$	$S-C_2-A$	$-[U-(1+\mu)Q]$
$E_7(1,1,0)$	$-(A+P-C_1)$	C_2+A	$U-(1+\mu)Q$
$E_8(1,1,1)$	$-[A+P+I-(1-\theta)\Delta R-C_1]$	$-(S-C_2-A)$	$-[U-(1+\mu)Q]$

表 4 稳定点均衡性分析

Table 4 Equilibrium analysis of stable point

均衡点	情形 1				情形 2			
	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3	稳定性	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3	稳定性
$E_1(0,0,0)$	—	—	—	ESS	—	+	—	鞍点
$E_2(0,0,1)$	±	±	+	不稳定	±	+	+	不稳定
$E_3(0,1,0)$	±	+	—	不稳定	—	—	—	ESS
$E_4(0,1,1)$	+	±	+	不稳定	+	+	+	鞍点
$E_5(1,0,0)$	+	—	+	不稳定	+	—	+	不稳定
$E_6(1,0,1)$	±	+	—	不稳定	±	+	—	不稳定
$E_7(1,1,0)$	±	+	+	不稳定	+	+	+	鞍点
$E_8(1,1,1)$	—	—	—	ESS	—	—	—	ESS

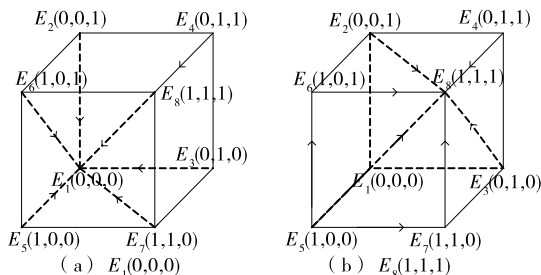


图 5 $P-C_2<0$ 的相位图

Figure 5 Phase diagram of $P-C_2<0$

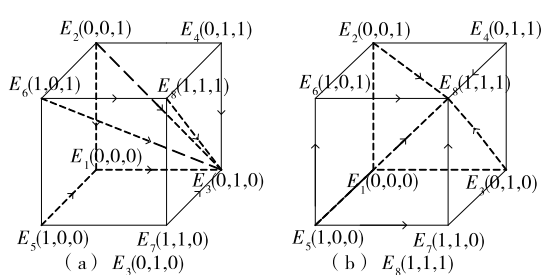


图 6 $A+P-C_1<0, P-C_2>0$ 的相位图

Figure 6 Phase diagram of $A+P-C_1<0, P-C_2>0$

影响不断调整策略,最终达到均衡。通过以上渐进稳定性分析可知,在三方演化博弈中,任一博弈主体策略的均衡状态会随其他两方策略的变化而变化。运用 Matlab2018b 软件模拟不同的初始状态、接入成本、溢价系数和溯源信息真实度对三方主体策略选择的影响。参数设定: $R=2, \Delta R=0.6, C_1=0.2, C_2=0.5, P=0.8, A=0.32, I=0.32, S=3, Q=0.2, L=0.4$ 。初始状态、区块链接入成本、溢价系数及溯源信息真实度分别取 0.2, 0.5, 0.8 代表低、中、高 3 种力度。

3.1 初始值对参与主体行为演化的影响

由图 7 可知,在初始值为 (0.2, 0.8, 0.2), (0.5, 0.5, 0.5) 和 (0.8, 0.2, 0.8) 时,不同初始值会影响三方主体最终的策略选择,即系统的稳定状态与初始策略人群占比有关。当消费者选择购买的比例较小时,消费者会向着不购买的方向演化,食品企业的策略选择呈先上升后下降的趋势,随着时间的延长,消费者不购买行为最终导致食品企业选择不上链,政府稳定于消极规制策略;当消费者选择购买的人群比例居中时,消费者的策略选择呈先下降后上升的趋势,短期内消费者不够认可,但是随时间的延长溯源信息得到消费者的肯定后消费者稳定于购买策略,食品企业稳定于上链,政府稳定于积极规制策略;当消费者选择购买的人群比例较高时,三方主体以较快的速率演化稳定于(上链,积极规制,购买)的理想状态。

3.2 接入成本 C_1 对参与主体行为演化的影响

由图 8 可知,当食品企业接入区块链的成本较小时,食品企业向着上链的策略方向演化,政府向着积极规制的方向演化,消费者一开始向着不购买的趋势演化,后转为购买并最终稳定于购买策略。最初带有溯源信息的食品价格要高于普通食品,消费者对于追溯信息的认可度不够而选择不购买,随着时间的推移,具备真实追溯信息食品的价值逐渐得到认可,消费者则会逐渐倾向于购买策略;而随着接入成本的增加,三方主体演化稳定策略为(不上链,消极规制,不购买)。区块链应用食品溯源体系初期,设备采购布置、信息收集的成本较高,食品企业或看中短期利益或负担不起成本放弃采用区块链技术。

3.3 溢价系数 μ 对参与主体行为演化的影响

由图 9 可知,当溢价系数为中低力度时,三方博弈主体的策略选择稳定于(上链,积极规制,购买);当溢价系数较高时,食品企业和政府最初仍然向着(上链,积极规制)的方向演化,消费者最先出现策略的变化:由购买转为不购买,随着时间的延长,食品企业和政府策略选择也转变为(不上链,消极规制),最终三方博弈主体的策略选择稳定于(不上链,消极规制,不购买)。消费者对于追溯信息具有一定的认可度也愿意为追溯食品支付一定的溢价,但是当溢价系数过高时,消费者对价格的敏感超过对食品溯源信息的需要,宁愿承担虚假信息风险,消费者

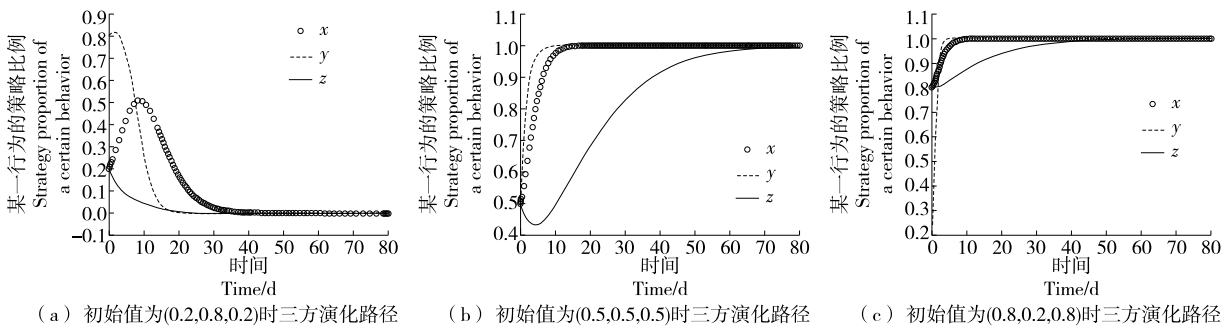


图 7 不同初始状态对演化路径的影响

Figure 7 Influence of different initial states on evolution path

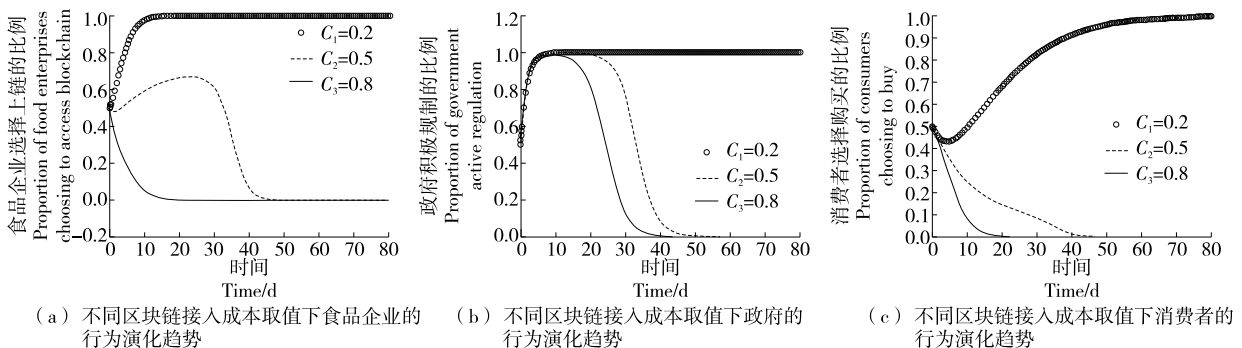


图 8 不同区块链接入成本取值下各参与主体的行为演化趋势

Figure 8 Behavior evolution trend of participants under different block link in costs

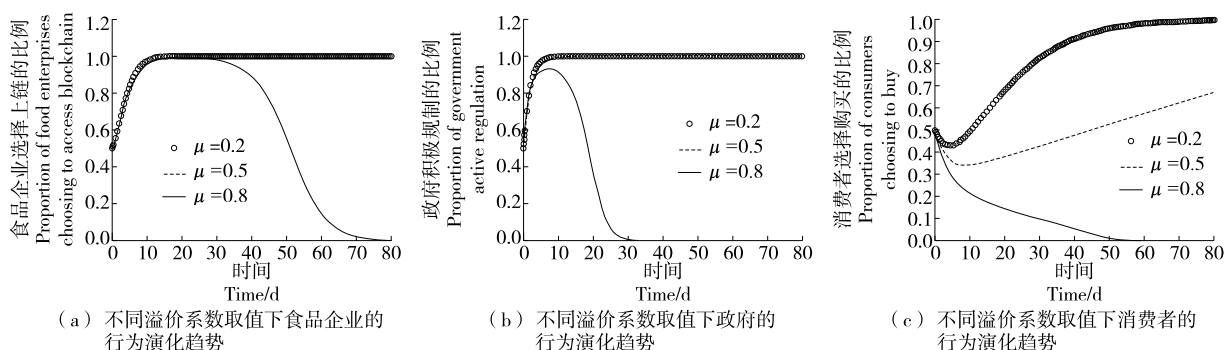


图 9 不同溢价系数取值下各参与主体的行为演化趋势

Figure 9 Behavior evolution trend of participants under different premium coefficients

选择不购买策略,市场上也出现劣币驱逐良币的现象,导致含有真实溯源信息的食品失去市场份额,食品企业和政府也转变为消极策略,影响区块链技术在食品安全溯源体系的应用和推广。

3.4 溯源信息真实度 θ 对参与主体行为演化的影响

由图 10 可知,消费者对溯源信息是否真实的敏感度最高,在演化的初始阶段消费者向着不购买的方向演化,而食品企业和政府一直向着积极的方向演化,这是由于

初始阶段消费者对于食品溯源信息认识不够深入而认可度较低。随着时间的推移,消费者逐渐认识到真实溯源信息食品的重要性,从而转向购买的方向演化并稳定于购买策略。可见,溯源信息真实度不影响三方主体最终的稳定策略,但是影响三方主体达到均衡的时间,而区块链技术的不可篡改性可以提高食品溯源信息的真实度,溯源信息的真实度越高,三方主体达到(上链,积极规制,购买)的均衡状态的速率越快。

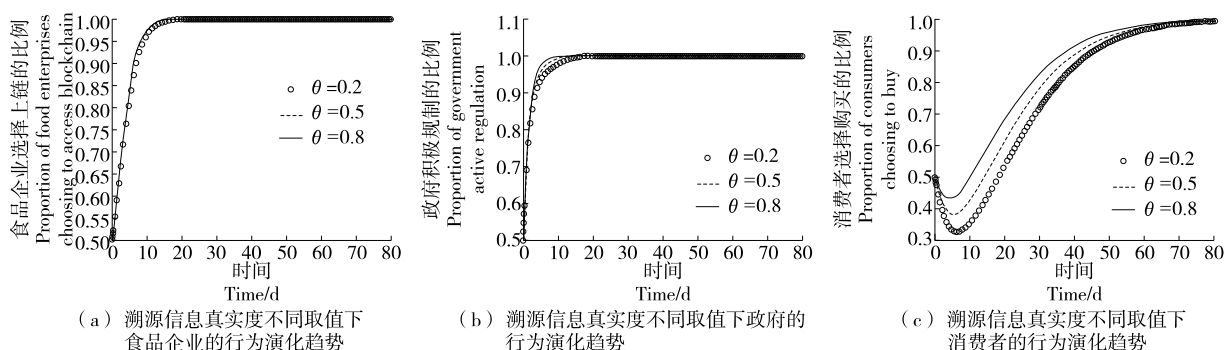


图 10 溯源信息真实度不同取值下各参与主体的行为演化趋势

Figure 10 Behavior evolution trend of participants under different values of traceability information authenticity

4 结语

基于区块链技术应用于食品溯源的优越性,构建了食品企业、政府和消费者应用区块链技术的三方博弈模型,模拟不同的初始状态、接入成本、溢价系数以及溯源信息真实度对三方主体的演化行为的影响。通过分析,得出区块链技术需要在合适的情境中才能推出,当消费者达到一定认可度时才能促使企业采用区块链技术。因采用区块链技术能提高食品溯源信息的真实性,可有利企业积极采用区块链技术实现食品信息溯源,政府采用积极的规制制度,消费者倾向于购买该类食品。但是过高的接入成本会影响企业采用区块链技术的积极性,同时会造成相关食品溢价过高影响消费者购买,所以初期需要各方采用相关推动措施。在以上结论的基础上,为了更好推进区块链技术的应用,提出如下建议。

(1) 合理控制可追溯食品溢价,提高消费者对可追溯食品的接受度。政府可以通过补贴奖励等形式调动消费者购买的积极性,提高消费者的购买意愿,进而增强对追溯食品的认可度,消费者认可进而作用于食品企业,提高食品企业溯源体系建设的积极性。

(2) 企业应通过多种形式合作构建区块链食品溯源体系。区块链接入溯源体系的建立必然带来成本的提升,而企业单独构建成本尤其高昂,食品企业可以通过合作构建或者 PPP 等模式构建,在保证溯源信息真实性的前提下降低可追溯食品溢价程度的价格,从而提高消费者的认可度。

(3) 发挥政府主导作用,建立科学的奖惩机制。影响食品企业策略选择的关键因素是区块链的接入成本,政府可以通过补贴、减税等方式提高食品企业溯源信息共

享、溯源体系共建的积极性,与食品企业携手保证食品安全质量,减少信息不对称。同时政府在引导消费观念,提升消费者认可度方面也应发挥主导作用,形成三方合力,尽快推动区块链技术的应用,从根本上解决食品溯源信息的真实性问题。

研究仅考虑了政府、食品企业、消费者三方主体,但实际生活中,新媒体、电商平台对于食品溯源体系的建设、提高食品溯源信息的真实性也各自发挥着不同的作用。因此,构建多主体的博弈模型是今后的研究方向。

参考文献

- [1] 张夏恒. 基于区块链的供应链管理优化[J]. 中国流通经济, 2018, 32(8): 42-50.
ZHANG Xia-heng. Optimization of supply chain management mode based on blockchain[J]. China's Circulation Economy, 2018, 32(8): 42-50.
- [2] 山丽杰, 徐旋, 谢林柏. 实施食品可追溯体系对社会福利的影响研究: 基于垂直差异化博弈的视角[J]. 公共管理学报, 2013, 10(3): 103-109, 141-142.
SHAN Li-jie, XU Xuan, XIE Lin-bo. Research on the impact of food traceability system on social welfare from the perspective of vertical differentiation game[J]. Journal of Public Administration, 2013, 10(3): 103-109, 141-142.
- [3] 朱立龙, 郭鹏菲. 政府约束机制下农产品质量安全监管三方演化博弈及仿真分析[J]. 系统工程, 2017, 35(12): 75-80.
ZHU Li-long, GUO Peng-fei. Tripartite evolutionary game and simulation analysis of agricultural product quality and safety supervision under government constraint mechanism[J]. Systems Engineering, 2017, 35(12): 75-80.
- [4] 刘长玉, 于涛, 马英红. 基于产品质量监管视角的政府、企业与消费者博弈策略研究[J]. 中国管理科学, 2019, 27(4): 127-135.
LIU Chang-yu, YU Tao, MA Ying-hong. Research on game strategy among government, enterprise and consumer from the perspective of product quality supervision[J]. China Management Science, 2019, 27(4): 127-135.
- [5] 吴林海, 龚晓茹, 陈秀娟, 等. 具有事前质量保证与事后追溯功能的可追溯信息属性的消费偏好研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(8): 148-160.
WU Lin-hai, GONG Xiao-ru, CHEN Xiu-juan, et al. Research on consumption preference of traceability information attribute with prior quality assurance and post traceability function[J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(8): 148-160.
- [6] 曹裕, 李青松, 胡韩莉. 基于消费者行为的食物溯源信息监管策略研究[J]. 运筹与管理, 2020, 29(8): 137-147.
CAO Yu, LI Qing-song, HU Han-li. Research on supervision strategy of food traceability information based on consumer behavior[J]. Operations Research and Management, 2020, 29(8): 137-147.
- [7] 孙胜楠, 张艳, 王新平, 等. 考虑消费者支付意愿的食品供应链溯源采购策略分析[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(5): 1 265-1 273.
SUN Sheng-nan, ZHANG Yan, WANG Xin-ping, et al. Analysis on traceability purchasing strategy of food supply chain considering consumers' willingness to pay[J]. Theory and Practice of Systems Engineering, 2017, 37(5): 1 265-1 273.
- [8] 朱桂菊, 游达明, 黄福华, 等. 参考价格效应下食品供应链溯源投入的微分博弈分析[J]. 系统工程, 2020, 38(1): 55-65.
ZHU Gui-ju, YOU Da-ming, HUANG Fu-hua, et al. Differential game analysis of traceability input in food supply chain under reference price effect[J]. Systems Engineering, 2020, 38(1): 55-65.
- [9] CHEN You-hua, HUANG Sun-jun, MISHRA Ashok K, et al. Effects of input capacity constraints on food quality and regulation mechanism design for food safety management[J]. Ecological Modeling, 2018, 385: 89-95.
- [10] ALLATA S, VALERO A, BENHADJA L. Implementation of traceability and food safety systems (HACCP) under the ISO 22000: 2005 standard in north africa: The case study of an ice cream company in algeria[J]. Food Control, 2017, 79: 239-253.
- [11] CHEN Tai-bo, DING Kai-fang, HAO Shuai-kang, et al. Batch-based traceability for pork: A mobile solution with 2D barcode technology[J]. Food Control, 2020, 107: 106770.
- [12] 赵训铭, 刘建华. 射频识别(RFID)技术在食品溯源中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 212-216, 225.
ZHAO Xun-ming, LIU Jian-hua. Advances in the application of RFID technology in food traceability systems[J]. Food & Machinery, 2020, 35(2): 212-216, 225.
- [13] 刘宗妹. “区块链+射频识别技术”赋能食品溯源平台研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 102-107.
LIU Zong-mei. Research on “blockchain + RFID” enabling food traceability platform[J]. Food & Machinery, 2020, 36(9): 102-107.
- [14] KIM H M, LASKOWSKI M. Blockchain: Promise of economy, sustainability, and transparency for global food production[J]. Social Science Electronic Publishing, 2017, 13(9): 729-743.
- [15] KSHETRI N. Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives[J]. International Journal of Information Management, 2018, 39(4): 80-89.
- [16] KAMATH R. Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM[J]. The Journal of The British Blockchain Association, 2018, 1(1): 1-12.